

OPTIMALISASI KANDUNGAN KAPUR PADA MATERIAL ORGANIK UNTUK MENINGKATKAN KUAT GESER TANAH

Nor Puji Lestari ^{1*}, Vemi Widodoanindyawati ¹⁾, Dianita Ratna Kusumastuti ¹⁾, Triwardaya ¹⁾, Marsudi ¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
Jln. Prof. H. Soedarto, S.H. Tembalang, Kota Semarang Jawa Tengah 50275
*E-mail: rendy.dwi@polines.ac.id

ABSTRACT

Bridges have a central role as routes that connect between regions, one of which is Permata Jangli Housing Phase 2. Because of the importance of this connectivity, community dedication to repairing bridges is a major concern in efforts to maintain the safety and sustainability of the bridge. This community service examines repair methods for the retaining walls around the bridge to avoid the potential for the bridge to be eroded by water flow. Through the active participation of community members and the implementation of appropriate construction techniques, the results of this collaboration show that the retaining walls around the bridge have been successfully repaired, as well as increasing their resistance to water pressure and erosion. The success of this community service not only improves the quality of life of local residents by ensuring sustainable connectivity, but also empowers communities in efforts to preserve their vital infrastructure. This community service can be an inspiring example for similar efforts in similar housing complexes that face similar challenges in maintaining important infrastructure such as bridges. This underlines the important role of community service in maintaining infrastructure as a key aspect in sustainable development in urban housing.

Keywords: Connectivity, Bridge Repair, Sustainability.

PENDAHULUAN

Tanah lempung lunak merupakan jenis tanah lempung yang memiliki masalah yang kompleks dibandingkan dengan tanah pada umumnya. Masalah utama pada tanah lempung lunak adalah kadar air yang tinggi, kandungan mineral tanah yang rendah, serta kompresibilitas tinggi. Sehingga lempung lunak memiliki karakteristik faktor kembang susut yang besar dan nilai kuat dukung tanah yang rendah. Selain sifat fisik tersebut, sifat kandungan bahan organik yang terdapat dalam tanah lempung lunak juga menjadi masalah yang patut untuk diperhatikan. Kandungan bahan organik dalam tanah lempung yang melewati batas maksimum yang disyaratkan, akan mereduksi kekuatan dari tanah lempung tersebut (Upa, dkk, 2015). Perkembangan penduduk

perkotaan membawa implikasi terhadap meningkatnya kebutuhan perumahan, prasarana, dan fasilitas perkotaan. Akibat dari tuntutan kebutuhan kawasan untuk pembangunan infrastruktur baru, maka meningkat pula pemanfaatan kawasan tanah lunak untuk kebutuhan konstruksi baik kebutuhan industri maupun pemukiman.

Salah satu pengembangan kawasan tanah lempung lunak untuk kawasan industri dan pemukiman adalah di daerah pesisir utara Semarang. Rencana pengembangan jalan di wilayah pesisir utara Kota Semarang merupakan salah satu rencana pengembangan oleh Pemerintah Kota Semarang. Berdasarkan beberapa penelitian wilayah pesisir utara Kota Semarang mempunyai tingkat penurunan tanah yang cukup besar mencapai 11-21 cm/tahun (Ramadhan et

al., 2021; Yuwono et al., 2016). Penelitian terhadap kondisi geologi diketahui bahwa ketebalan lapisan tanah lempung dan lanau dengan konsistensi lunak dan sedang berada pada kedalaman 15-28 m (Masvika et al., 2021). Besarnya penurunan tanah di Semarang Utara dipengaruhi oleh ketebalan lapisan tanah dan beban permukaan. Penurunan tanah terbesar terjadi di daerah Gedung BMKG dan Pelabuhan Tanjung Mas dengan nilai sekitar 397.72 cm dengan laju penurunan sebesar 12,40 cm/tahun (Masvika et al., 2019).

Metode perbaikan yang digunakan adalah dengan menggunakan metode Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD) (Aini et al., 2023; Anggrahini & Fitriyana, 2022). Selain itu metode *Vacuum Preloading* dengan *Prefabricated Vertical Drain* juga menjadi salah satu metode perbaikan tanah lunak (Ralindra, 2022). Aini, dkk (2023) melakukan penelitian terkait evaluasi metode perbaikan tanah lunak dengan *preloading* kombinasi PVD-PHD pada proyek pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Paket II. Dari hasil penelitian didapatkan adanya perbedaan penurunan dan waktu tunggu konsolidasi anatar perencanaan dengan kondisi aktual di lapangan.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas dukung tanah yaitu dengan melakukan injeksi bahan kimia. Injeksi bahan kimia memiliki beberapa kelemahan, seperti meningkatkan pH tanah yang berpotensi menyebabkan permasalahan lingkungan (Cheng et al., 2016). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa materi-materi kimiawi yang terdapat pada material *chemical grout* tersebut dapat berdampak buruk karena berpotensi mengontaminasi tanah dan aliran air tanah karena bersifat racun dan

berbahaya bagi ekosistem secara umum (Karol, 2003). Hal ini mendorong para peneliti untuk mengembangkan teknologi yang lebih ramah lingkungan menggunakan campuran *bio-chemical* yang disebut dengan *Enzyme Induced Calcite Precipitation* (EICP). Karena metode ini cenderung mahal, Gao et al., (2019) melakukan beberapa penelitian dan didapatkan bahwa bubuk kedelai memiliki potensi sebahai bahan pengganti urease. Selain itu Lee & Kim, (2020) juga menggunakan *yellow soybeans* sebagai alternatif EICP yang digunakan untuk stabilisasi tanah. Metode lain yang mulai dikembangkan untuk perbaikan tanah adalah *Microbial-induced Calcite Precipitation* (MICP) (Lim, Muhammad, & Lestari, 2019) dan *soybean crude urease calcite precipitation* (SCU-CP) (Putra & Yudhistira, 2022).

Microbial-induced Calcite Precipitation (MICP) merupakan suatu metode perbaikan tanah yang relatif baru dan merupakan cabang dari metode *Biomediated Soil Improvement*. MICP adalah metode yang melibatkan bakteri tanah dengan kemampuan hidrolisis urease sehingga dapat mengendapkan kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai bahan perekat antar butir tanah untuk memperkuat struktur tanah itu sendiri. Pada Metode MICP yang dilakukan Lim dkk (2019) bakteri yang digunakan adalah bakteri asli tanah dari tanah pasir, kemudian dilakukan isolasi bakteri dengan larutan NaCl. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan bebas (qu) tanah yang tersementasi dengan bakteri berkisar diantara 150 kPa hingga diatas 500 kPa. Metode lain yang sudah dikembangkan adalah *soybean crude urease calcite precipitation* (SCU-CP) yang diterapkan pada tanah gambut. Pada metode ini digunakan bubuk kedelai dengan campuran larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ untuk mengembangkan

biokatalisator pada perbaikan tanah. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai CBR yang signifikan sebanding dengan peningkatan kadar enzim urease yang terdapat pada tanah gambut. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan bakteri dari material organik untuk membentuk senyawa kapur sebagai perekat pada stabilisasi tanah lempung lunak belum dilakukan dan masih memerlukan kajian lebih lanjut. Sehingga pada penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan perbaikan tanah dengan cara stabilisasi tanah lempung lunak dengan bakteri yang ada pada material organik.

METODE PENELITIAN

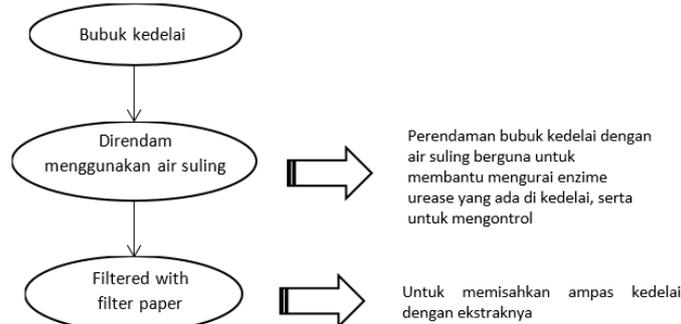
Penelitian ini menggunakan metode ekperimental di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang. Alur

penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

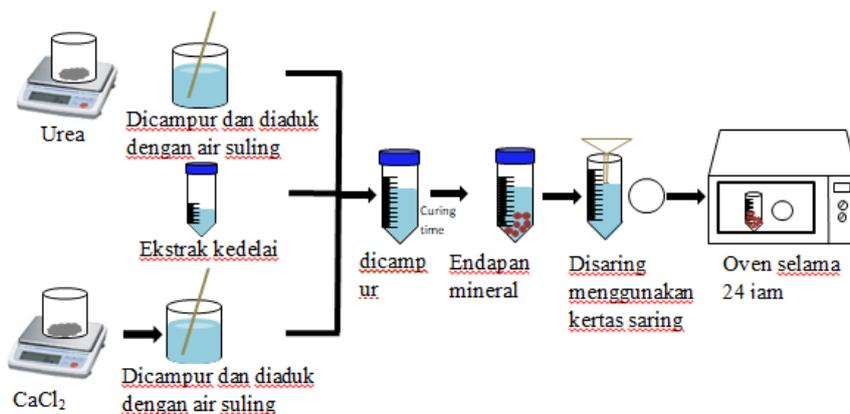
1. Uji Pengendapan Kalsium Karbonat

Pencampuran bubuk kedelai dengan *distilled water* dan ditunggu selama 20 menit, setelah itu disaring dengan menggunakan kerta saring. Dari hasil penyaringan didapatkan cairan ekstrak kedelai. Urea dilarutkan dengan *distilled water*, selanjutnya calcium chloride ($CaCl_2$) dilarutkan dengan *distilled water*. Semua bahan dibedakan pencampurannya di dalam masing – masing gelas ukur. Dimana konsentrasi urea dan $CaCl_2$ 1,0 mol/liter.

Secara ringkas, pembuatan ekstrak kedelai dapat dituliskan dalam bagan alir disajikan dalam Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Bagan alir pembuatan ekstrak kedelai



Gambar 2. Bagan alir pengujian endapan kapur

Selanjutnya tahap analisis yang akan didapatkan grafik hubungan antara presentase endapan *calcite* dengan variasi penambahan bubuk kedelai. Dari grafik didapatkan kondisi *calcite* optimum pada berapa berat penambahan bubuk kedelai. Selain itu didapatkan juga grafik hubungan antara waktu pemeraman (*curing time*) dengan prosentase *calcite* pada variasi penambahan kedelai

2. Tahap Pengambilan Sampel Tanah
Pengambilan sampel terganggu (*disturb sample*) untuk melaksanakan uji soil properties indeks, pengujian *Proctor*, pengujian CBR, dan uji tekan bebas.
3. Pembuatan Sampel Uji dengan *Treatment* EICP
4. Tahap Pengujian Sifat Fisik Tanah
5. Pengujian Tanah Asli UCS dan CBR tanpa *Treatment*
6. Uji SEM dan XRD

X-ray diffraction (XRD) *X-ray diffraction* (XRD) adalah alat yang digunakan secara intensif dalam mengidentifikasi mineral dan lempung yang mempunyai kristal. XRD ini dapat juga digunakan untuk mengkarakterisasi lempung apakah suatu lempung merupakan

lempung yang dapat *swelling* atau *non-swelling*. Prinsip XRD ini adalah dengan cara melakukan penyinaran dengan berbagai sudut datang (*incident angle*) dari suatu sampel yang mengandung mineral.

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Elektron ditembakkan dan berinteraksi dengan bahan sehingga menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang permukaan bahan meliputi topografi, morfologi, komposisi serta informasi kristalogafi. SEM banyak digunakan untuk analisa permukaan material, SEM juga dapat digunakan untuk menganalisa data kristalogafi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa. Pada prinsip kerja SEM, dua sinar elektron digunakan secara simultan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Indeks Propertis Tanah

Pengujian awal propertis tanah asli yang telah diuji di Laboratorium mekanika tanah Jurusan Teknik Sipil Polines dapat dilihat pada tabel 1.

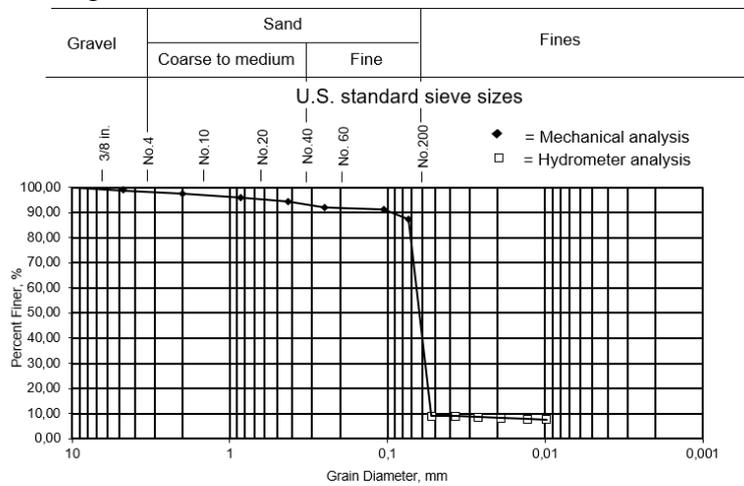
Tabel 1.

Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

No.	Pemeriksaan	Satuan	Nilai
1.	Kadar air (<i>w</i>)	%	62.08
2.	Berat jenis tanah (<i>G_s</i>)	gr/cm ³	2.58
3.	Batas cair (<i>LL</i>)	%	42.5
4.	Batas plastis (<i>PL</i>)	%	19.71
5.	Indeks plastisitas (<i>IP</i>)	%	22.79
6.	Berat isi tanah kering (<i>γ_d</i>)	gr/cm ³	1.256
7.	Porositas (<i>n</i>)	%	0.629
8.	Angka pori (<i>e</i>)	-	1.625

Setelah diperoleh karakteristik tanah asli, selanjutnya sampel tanah dilakukan pengujian terhadap analisa saringan untuk mengetahui klasifikasi

tanah tersebut. Hasil pengujian analisa saringan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Hasil pengujian analisa saringan

Hasil pengujian analisa butiran menunjukkan bahwa jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diameter butiran lebih kecil dari 0,075 mm, dan persentase tanah lolos saringan No. 200 sebesar 87,51%. Jika dilihat dari persentase lolos saringan lebih dari 50% maka tanah tersebut termasuk tanah berbutir halus. Berdasarkan klasifikasi USCS, dengan nilai batas cair, indeks plastisitas dan persen lolos saringan No. 200, maka jenis tanah tersebut termasuk lempung atau lanau dengan plastisitas tinggi (MH atau OH).

Nilai indeks plastisitas yang diperoleh pada tanah asli menunjukkan nilai 37,7%. Secara teoritis semakin tinggi nilai plastisitas indeks, maka semakin tinggi pula kandungan butiran lempung pada tanah. Kondisi ini sesuai dengan hasil pengujian analisa saringan yang didapatkan dengan kandungan

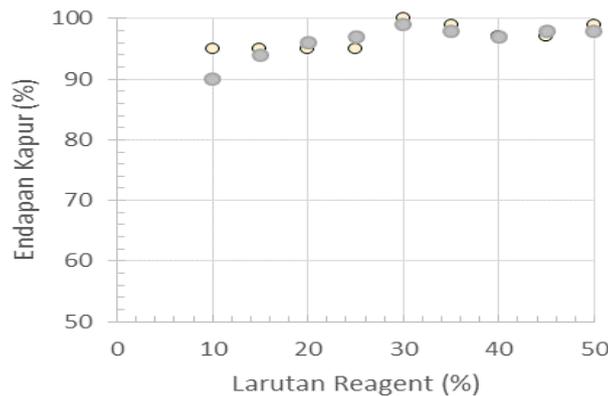
lempung 87,51%. Pada tanah asli nilai indeks plastisitas menunjukkan angka > 17% maka berdasarkan batasan mengenai indeks plastisitas tanah menurut Atterberg (dalam Hardiyatmo, 2002), tanah tersebut mempunyai sifat plastisitas tinggi.

Pengujian endapan kapur dari bubuk kedelai

Larutan Urea CaCl_2 dengan molaritas tertentu dilakukan pengujian untuk mengetahui persentase pengendapan kapur. Laju pengendapan dikendalikan oleh konsentrasi larutan urease dan aktivitas urease dalam larutan. Untuk mengevaluasi efisiensi presipitasi, jumlah kalsium karbonat yang diendapkan oleh EICP dengan berbagai konsentrasi larutan kedelai dianalisis. Pengendapan dibiarkan selama 24 jam dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengujian pengendapan kapur dengan variasi waktu peram

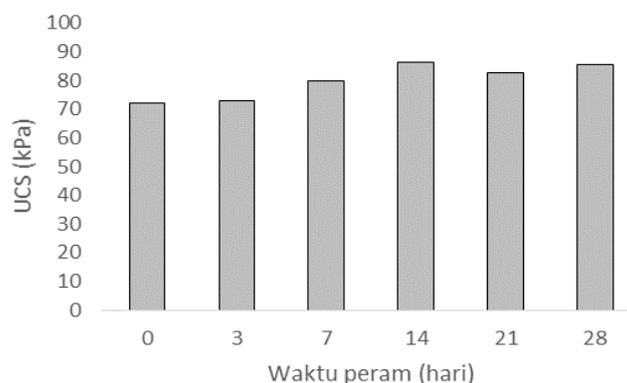


Gambar 5. Perbandingan endapan kapur dengan berbagai variasi konsentrasi

Pada Gambar 5, menunjukkan sedikit perbedaan dalam rasio pengendapan kapur, dengan waktu peram selama 24 jam. Dengan demikian, pengendapan kapur paling optimum didapat pada konsentrasi ekstrak kasar kedelai sebesar 30 gr/ L. Konsentrasi ekstrak kasar kedelai 10 gr/L sampai dengan 25 gr/L menunjukkan pengendapan kapur yang masih belum terbentuk maksimum sebagai bahan katalisator. Sedangkan pada konsentrasi 40 gr/L hingga 50 gr/L penggunaan enzim terlalu boros, karena pada konsentrasi 30 gr/L sudah menghasilkan endapan kapur yang paling optimum.

Hasil Uji Geser Tanah Dengan Tambahkan Enzim Urease

Dari hasil uji endapan kapur, diperoleh konsentrasi optimum adalah 30 gr/L, sehingga pada pengujian kekuatan geser tanah lempung digunakan konsentrasi sebesar 30 gr/L. Hasil uji UCS menunjukkan bahwa uji kuat tekan bebas terhadap contoh tanah tersementasi kapur tanpa waktu peram menghasilkan nilai kekuatan sebesar 71,99 kPa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



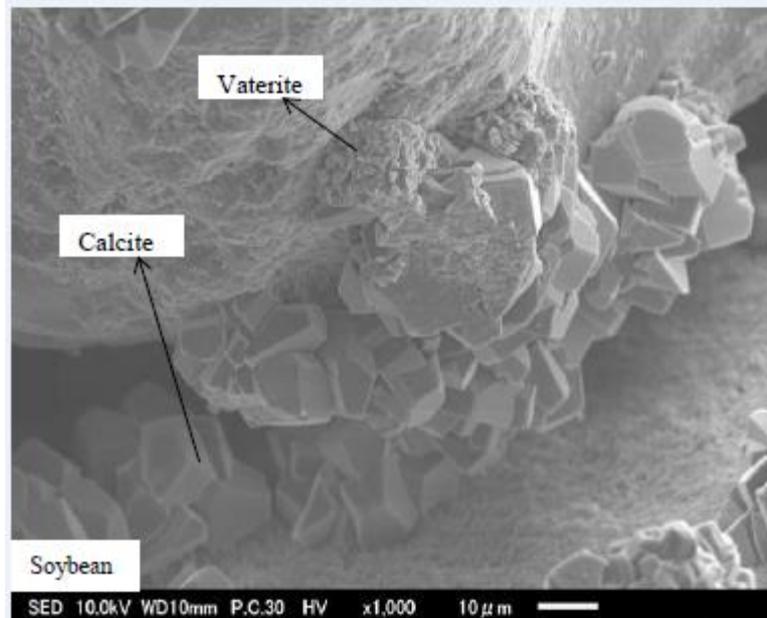
Gambar 6. Hubungan waktu peram dengan nilai UCS

Terlihat pada Gambar 6 bahwa waktu peram (3, 7, 14, 21, 28 hari) memiliki pengaruh yang kecil terhadap nilai UCS untuk semua contoh tanah yang diuji. Peningkatan nilai kuat geser tanah terjadi pada waktu peram selama 14 hari. Sedangkan pada waktu peram kurang dari 14 hari, terlihat bahwa nilai UCS cenderung belum stabil. Pada waktu peram lebih dari 14 hari terlihat nilai peningkatan nilai UCS yang relatif kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa waktu peram paling efektif penggunaan kadungan kapur untuk tanah lunak tercapai pada waktu 14 hari. Nilai UCS dengan waktu peram 14 hari menunjukkan peningkatan sebesar $\pm 20\%$ dibandingkan tanah tersementasi tanpa waktu peram. Kondisi ini menunjukkan bahwa stabilisasi tanah lempung dengan tambahan kapur kurang memberikan

dampak perbaikan terhadap nilai kekuatan gesernya.

Hasil Uji SEM Dan XRD

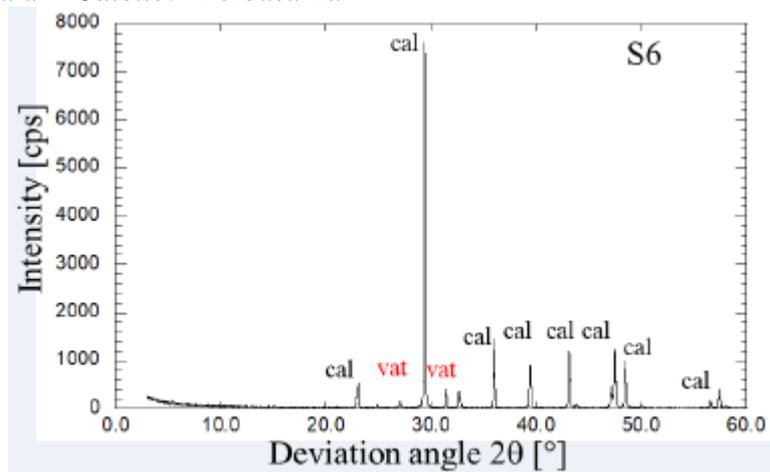
Uji SEM diambil dari sampel tanah tersementasi. Gambar 7. menyajikan hasil SEM partikel tanah yang tersementasi oleh kapur. Foto yang ditampilkan adalah perbesaran 1000 kali. Pada butiran tanah yang tersementasi kapur, permukaan butir tanah terlihat lebih kasar dengan berbagai bentuk dan ukuran dari kapur. Terdapat 3 fase pembentukan kapur, yaitu *aragonite*, *calcite*, dan *vaterite*. Pada larutan *reagent* yang digunakan terbentuk hanya 2 fase kapur, yaitu *calcite* dan *vaterite*, sesuai dengan Gambar 4. Dan gambar 5. Sehingga dengan adanya proses sementasi antara butiran tanah dengan kapur akan meningkatkan kekuatan tanah.



Gambar 7. Hasil uji SEM

Hasil uji XRD pada tanah yang tersementasi dengan kapur ditunjukkan pada Gambar 8. Hasil uji XRD menunjukkan hasil yang sejalan dengan uji SEM. Dari Gambar 8 terlihat bahwa komponen dominan yang terukur pada uji XRD adalah *Calcite*. Berdasarkan

hasil XRD, komponen dominan yang terukur adalah CaCO_3 sintesis. Menurut Kralj dkk (1990), komponen CaCO_3 akan lebih tinggi kemungkinannya untuk terbentuk dibandingkan *Vaterite* ketika aktivitas enzim urease cenderung rendah.



Gambar 8. Hasil uji XRD

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil uji diperoleh bahwa perilaku material organik untuk perbaikan propertis tanah menunjukkan sifat berikut:

1. Pengendapan kapur paling optimum pada bubuk kedelai didapat pada konsentrasi ekstrak kasar kedelai sebesar 30 gr/ L.
2. Peningkatan nilai kuat gerer tanah tersementasi terjadi pada waktu peram 14 hari. Setelah 14 hari tidak terjadi peningkatan nilai

- kekuatan geser tanah yang signifikan.
3. Penambahan kapur pada material tanah lunak menunjukkan hasil yang kurang efektif untuk peningkatan kuat geser tanah lunak.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, I. A., Maulana, E. I., & Santoso, H. T. 2023. *Evaluasi Metode Perbaikan Tanah Lunak dengan Preloading Kombinasi PVD-PHD pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Paket II*. Bentang: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, 11(1), 21–36. <https://doi.org/10.33558/bentang.v11i1.4622>
- Anggrahini, Z., & Fitriyana, L. 2022. *Studi Kasus Perbaikan Tanah Lunak Pada Proyek Tol Semarang – Demak (STA 20 + 300 – STA 20 + 500)*. JURNAL ILMIAH SULTAN AGUNG.
- Cheng, L., Shahin, M. A., Asce, M., & Mujah, D. 2016. *Influence of Key Environmental Conditions on Microbially Induced Cementation for Soil Stabilization Influence of Key Environmental Conditions on Microbially Induced Cementation for Soil Stabilization*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, July. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001586](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001586)
- Das, B. M. 2010. *Engineering, Principles of Geotechnical (Seventh)*. CENGAGE Learning.
- Gao, Y., He, J., Tang, X., & Chu, J. 2019. *Calcium Carbonate Precipitation Catalyzed By Soybean Urease As An Improvement Method For Fine-Grained Soil*. Soils and Foundations, 59(5), 1631–1637. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.03.014>
- Hardiyatmo, H. C. 2019. *Mekanika Tanah 2 (Keenam)*. Gadjah Mada University Press.
- Lee, S., & Kim, J. 2020. *An Experimental Study on Enzymatic-Induced Carbonate Precipitation Using Yellow soybeans for Soil Stabilization*. KSCE Journal of Civil Engineering, 24(7), 2026–2037. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-1659-9>
- Lim, A., Muhammad, D. A., & Lestari, A. S. 2019. *Studi Eksperimental Kemampuan Biosementasi Bakteri Lokal Pada Tanah Pasir Lepas*. Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, 129-138.
- Pratama, G. B. S., Yasuhara, H., Kinoshita, N., & Putra, H. 2021. *Application Of Soybean Powder As Urease Enzyme Replacement On EICP Method For Soil Improvement Technique*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 622(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012035>
- Putra, H., & Yudhistira, I. 2022. *Improvement of the California Bearing Ratio of Peat Soil Using Soybean crude urease calcite precipitation*. Civil Engineering Journal (Iran), 8(11), 2411–2423. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2022-08-11-04>
- Ralindra, D. F. 2022. *Modifikasi Perbaikan Tanah Dasar Tol Semarang–Demak: Metode Vacuum Preloading dengan Prefabricated Vertical Drain*.

Jurnal Aplikasi Teknik Sipil,
20(2), 163.
<https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v20i2.11188>

Upa, V.A., Suryo, I., Hapsoro, & Utomo
2015. *Pengaruh Tahapan Pra-
Stabilisasi Terhadap Kekuatan dan*

*Stabilitas Tanah Lempung Lunak
dengan Kandungan Bahan
Organik 5%. Skripsi. Tidak
diterbitkan. Fakultas Teknik
Yogyakarta: Universitas Gadjah
Mada.*